

## Evaluasi Nilai Setting Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Menggunakan DigSilent Power Factory

Muchamad Jafar Shodik<sup>1</sup>; Ibnu Hajar<sup>1\*</sup>

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI 11750, Indonesia

\*Email: [ibnu.hajar@itpln.ac.id](mailto:ibnu.hajar@itpln.ac.id)

Received: 15 Mei 2024 | Accepted: 09 Juni 2024 | Published: 05 Juli 2024

### ABSTRACT

*The electric power system is complex, it needs to be maintained so the system can run optimally. Many factors can interference with the transmission and distribution system process from sources (power plants) to consumers. In order to maintain the reliability and security of the transmission line, a protection system is needed. The protection system must work in its working area and not overlap each other. A distance relay is The protection system commonly used to secure the transmission line. The working principle of the distance relay is sensing the impedance and dividing the impedance into several zones so the relay can work simultaneously with other relays. This study uses a quantitative method to collect data, simulate them, and compare the relay setting result with IEEE Standard. In this case, the result of the calculation of the zone impedance value in zone-1 is 2.562 ohms, zone-2 is 4.611 ohms and zone-3 is 7.852 ohms. The simulation results show that these settings correspond with the IEEE C37.113.2015 standard and work selectively in their respective zones.*

**Keywords:** protection system, distance relay, impedance

### ABSTRAK

*Penyaluran tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang kompleks, sehingga dalam aplikasinya perlu dijaga agar dapat berjalan dengan optimal. Banyak faktor yang dapat mengganggu proses penyaluran energi listrik dari sumber ke konsumen. Demi terjaganya keandalan dan keamanan sistem penyaluran listrik, maka diperlukan sebuah sistem proteksi. Sistem proteksi yang dibuat harus bekerja sesuai dengan wilayah kerjanya dan tidak tumpang tindih. Sistem proteksi yang biasa digunakan pada pengamanan sistem penyaluran adalah rele jarak. Prinsip kerja rele jarak yaitu membaca nilai impedansi lalu membagi impedansi tersebut dalam beberapa zona agar rele dapat bekerja sesuai waktu yang ditentukan. Analisis setting rele jarak menggunakan metode kuantitatif yaitu mengumpulkan data kemudian menyimulasikan dan membandingkan hasil kinerja penyetelan rele jarak yang terpasang dengan standar IEEE C37.113.2015. Hasil perhitungan impedansi zona yang di dapatkan pada zona 1 adalah 2,562 ohm, zona 2 adalah 4,611 ohm dan zona 3 adalah 7,852 ohm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setting tersebut sudah sesuai standar IEEE C37.113.2015 dan bekerja selektif pada zonanya masing masing.*

**Kata kunci:** Sistem proteksi, rele jarak, impedansi

## 1. PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang kompleks, sehingga dalam aplikasinya perlu dijaga agar dapat berjalan dengan optimal. Banyak faktor yang dapat mengganggu proses penyaluran energi listrik dari sumber ke konsumen [1, 2, 3]. Terganggunya sistem penyaluran dapat merugikan banyak pihak mulai dari penyedia listrik hingga pada sisi konsumen [2, 3]. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dipasang suatu sistem untuk mengamankan sistem penyaluran listrik agar dapat terjaga dari gangguan. Sistem pengamanan tersebut dapat disebut dengan rele proteksi [4, 5].

Sistem proteksi yang harus bekerja sesuai dengan wilayah kerjanya (zona proteksinya) atau dengan kata lain harus selektif terhadap gangguan yang berada di wilayah kerjanya dan tidak tumpang tindih dalam arti bahwa system proteksi tidak boleh bekerja yang bukan wilayah kerjanya [6]. Sistem proteksi yang biasa digunakan pada pengamanan sistem penyaluran tenaga listrik adalah rele jarak. Rele jarak bekerja dengan cara membandingkan arus dan tegangan yang terukur dengan nilai yang telah ditentukan [7]. Perbandingan nilai tegangan dan nilai arus yang digunakan pada rele jarak disebut impedansi [8, 9, 10, 11].

Dengan membandingkan nilai impedansi, maka akan didapatkan data dari gangguan yang terjadi. Nilai impedansi yang diperoleh akan diklasifikasikan agar mendapatkan koordinasi antar sistem proteksi yang lain. Semakin dekat titik gangguan dengan sumber, maka semakin cepat respon yang dikeluarkan rele. Dari nilai impedansi tersebut juga didapatkan letak titik gangguan, sehingga dapat mempermudah lokalisir dari gangguan [12, 11]. Sehingga dalam hal ini, rele jarak harus sensitif dan selektif dalam mendeteksi gangguan [5].

Penelitian tentang nilai setting rele jarak sudah banyak dilakukan oleh banyak peneliti sebelumnya dan sudah terbit diberbagai jurnal penelitian sebagaimana hampir semua kutipan referensi [1 - 17] artikel ini dengan berbagai macam metodenya masing-masing. Namun, penelitian pada artikel ini dilakukan dengan melakukan evaluasi dan simulasi nilai setting menggunakan *software DigSilet power factory* karena adanya gangguan yang terjadi pada bay penghantar 2 di Gardu Induk Sampang, yang mana pada penelitian ini diharapkan akan memberikan solusi atas gangguan-gangguan serupa pada penghantar tersebut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Pengertian Relai Jarak

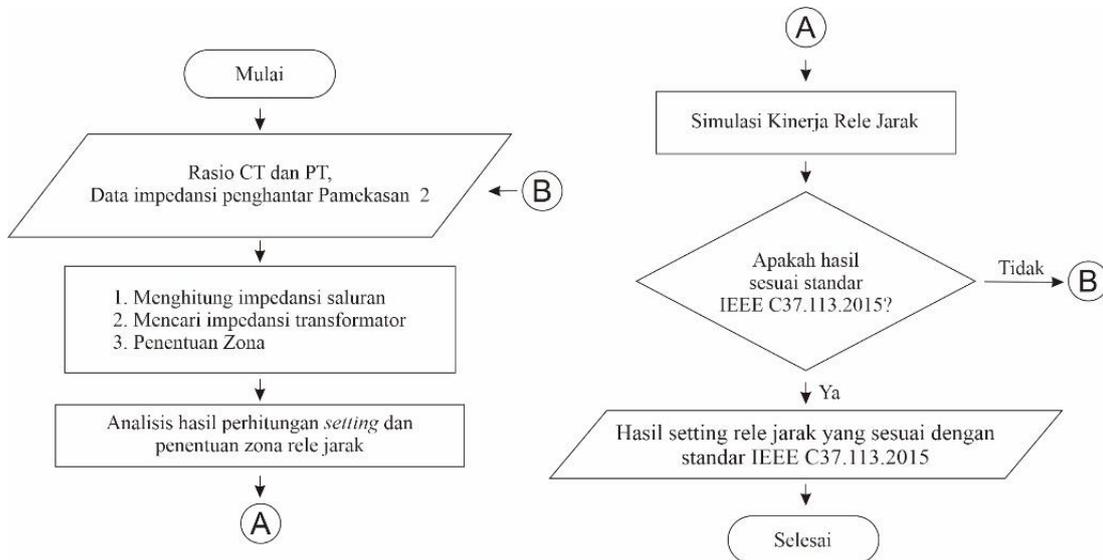
Rele Jarak (*distance relay*) merupakan jenis rele untuk memproteksi penghantar dengan prinsip kerja perbandingan nilai impedansi [13, 14]. Nilai impedansi pada penghantar yang terukur menggunakan CT dan CVT/PT akan dibandingkan dengan nilai impedansi acuan. Bentuk rele jarak dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Relai Jarak

**2.2. Flowchart**

Penelitian ini menggunakan metode evaluasi dan simulasi dari hasil observasi dan pengumpulan data. Penelitian dilaksanakan pengamatan langsung terhadap objek yang diteliti dengan keadaan yang sebenarnya terjadi dilapangan. Pengamatan dilakukan di ULTG Sampang UPT Gresik. Untuk mempermudah tahapan penelitian, dilakukan dengan membuat kerangka penelitian yang ditunjukkan dalam flowchart gambar 2.



**Gambar 2.** Flowchart Penelitian

**2.3. Pengukuran Impedansi Penghantar**

Persamaan impedansi dihitung berdasarkan panjang penghantar [15] diberikan oleh persamaan 1.

$$Z_L = (R_L + jX_L).L \tag{1}$$

dimana :

- ZL = Impedansi saluran penghantar (Ω)
- RL = Resistansi Penghantar (Ω)
- XL = Reaktansi Penghantar (Ω)
- L = Panjang penghantar (m)

**2.4. Perhitungan zona impedansi rele**

Rele jarak memiliki 2 zona proteksi [16, 17] yaitu:

a. Proteksi Utama (Zona 1)

Pada rele jarak, sistem proteksi utama memproteksi zona-1 dengan jangkauan proteksi 80-85% dari panjang penghantar yang diproteksi. Waktu zona1 adalah instan (0 detik). Persamaan 2 menunjukkan perhitungan impedansi rele untuk zona1.

$$Zona - 1 = 0,8 * Z_{L1} \tag{2}$$

dimana:  $Z_{L1}$  adalah impedansi penghantar.

b. Sistem Proteksi Cadangan (Zona 2 dan Zona 3)

Sistem proteksi yang bekerja apabila terjadi kegagalan pada sistem proteksi utama disebut sistem proteksi cadangan (*backup protection*). Pada *rele distance*, proteksi cadangan terbagi menjadi 2 wilayah yaitu zona 2 dan zona 3. Jangkauan pada zona 2 dapat melebihi nilai impedansi dari saluran yang diproteksi (sekitar 80-120%). Zona 2 memiliki waktu tunda antara 300-800 ms bergantung pada impedansi dan koordinasi dengan rele di depannya. Sedangkan zona 3 memiliki jangkauan hingga 2 rele di depannya. Nilai tunda waktu pada zona 3 ini sekitar 1600 ms agar rele pada zona tersebut dapat bekerja terlebih dahulu. Persamaan 3, 4 dan 5 merupakan persamaan-persamaan untuk besar impedansi zona 2.

$$Zona - 2_{min} = 1,2 * Z_{L1} \tag{3}$$

$$Zona - 2_{max} = 0,8 * (Z_{L1} + 0,8 * Z_{L2}) \tag{4}$$

$$Zona - 2_{trafo} = 0,8 * (Z_{L1} + 0,5 * jX_{trafo}) \tag{5}$$

dimana :

Zona-2min = impedansi minimum yang diamankan di depan Z1

Zona-2max = impedansi maksimum yang diamankan di depan Z1

XT = nilai total impedansi trafo jika terdapat beberapa trafo daya

Sementara itu persamaan 6, 7, 8, dan 9 adalah persamaan-persamaan untuk zona 3. Sedangkan perhitungan impedansi trafo bila ditinjau dari sisi primer dapat menggunakan persamaan 10.

$$Zona - 3_{min} = 1,2 * (Z_{L1} + Z_{L3}) \tag{6}$$

$$Zona - 3_{max1} = 0,8 * (Z_{L1} + (1,2 * Z_{L2}) * I_{infeed}) \tag{7}$$

$$Zona - 3_{max2} = 0,8 * (Z_{L1} + I_{infeed}(0,8(Z_{L2} + 0,8Z_{L3}))) \tag{8}$$

$$Zona - 3_{trafo} = 0,8 * (Z_{L1} + 0,8 * jX_{T1}) \tag{9}$$

dimana:

Zona - 3min = nilai impedansi minimum di depan Zona 1 dan Zona 2

Zona - 3max = nilai impedansi maksimum di depan Zona 1 dan Zona 2

$X_{L3}$  = nilai impedansi saluran berikutnya.

$X_T$  = nilai total impedansi trafo jika terdapat beberapa trafo daya

$$Z_s = Z_p \cdot n \tag{10}$$

dimana:

$Z_s$  = impedansi sekunder trafo

$Z_p$  = impedansi primer trafo

n = rasio CT dan PT

**2.5. Menghitung Reaktansi Trafo di Saluran**

Reaktansi trafo pada saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11.

$$X_T = \frac{Z_{SC} * V^2}{MCA_{Trafo}} \tag{11}$$

dimana:

$X_T$  = Reaktansi trafo (%)

- $V$  = tegangan kerja trafo (kV)
- $Z_{sc}$  = Rasio R/X (%)
- $MVA_{Trafo}$  = Kapasitas transformator (MVA)

**2.6. Menghitung Rasio CT dan PT**

Perhitungan rasio trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT) untuk mengetahui rasio antara kedua trafo tersebut menggunakan persamaan 11.

$$n = \frac{CT}{PT} \tag{12}$$

dimana :

- n = Rasio
- CT = Transformator Arus (CT)
- PT = Transformator tegangan (PT)

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Data Saluran**

Tabel 1 merupakan nilai impedansi yang didapatkan dari *nameplate* konduktor. Pada tabel 1 ditunjukkan jenis penghantar dan nilai impedansi serta panjang penghantar yang digunakan untuk tiga jalur penghantar yaitu Sampang-Pemekasan#2, Pemekasan-GulukGuluk#2, dan GulukGuluk-Sumenep#2, sedangkan Gambar 3 menunjukkan skema konfigurasi saluran yang akan diproteksi.

**Tabel 1.** Tabel data impedansi penghantar

| Penghantar             | Panjang (kms) | Impedansi (ohm/km)   |                   | Jenis Penghantar |
|------------------------|---------------|----------------------|-------------------|------------------|
|                        |               | $Z_1$ (imp. Positif) | $Z_0$ (imp. Nol)  |                  |
| Sampang-Pamekasan#2    | 26,688        | $0,137 + j 0,397$    | $0,287 + j 1,191$ | ACSR             |
| Pamekasan-GulukGuluk#2 | 27,843        | $0.137 + j 0.397$    | $0.287 + j 1.191$ | ACSR             |
| GulukGuluk-Sumenep#2   | 18,198        | $0.137 + j 0.397$    | $0.287 + j 1.191$ | ACSR             |

| GI SAMPANG                | GI PAMEKASAN              | GI GULUK-GULUK            | GI SUMENEP |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| L1<br>26,688 km           | L2<br>27,84364 km         | L3<br>18,1987 km          |            |
| OHL-150kV-HAWK 240 (645A) | OHL-150kV-HAWK 240 (645A) | OHL-150kV-HAWK 240 (645A) |            |
| 0.1370+0.3970j            | 0.1370+0.3970j            | 0.1370+0.3970j            |            |

**Gambar 3.** Skema penghantar

Impedansi saluran masing-masing penghantar pada tabel 2 diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dengan data pada tabel 1. Sementara Tabel 3 merupakan data spesifikasi rele jarak yang terpasang pada masing-masing saluran yang digunakan.

**Tabel 2.** Impedansi saluran

| Penghantar             | Nilai impedansi total (ohm) |
|------------------------|-----------------------------|
| Sampang-Pamekasan#2    | 3.656+j10.595               |
| Pamekasan-GulukGuluk#2 | 3.815+j11.054               |
| GulukGuluk-Sumenep#2   | 2.493+j7.225                |

**Tabel 3.** Data rele terpasang

| No | Keterangan      | Detail         |
|----|-----------------|----------------|
| 1  | Jenis Rele      | Distance relay |
| 2  | Merk            | Toshiba GRZ100 |
| 3  | Ratio CT        | 2000/5 A       |
| 4  | Ratio PT        | 154000/110 V   |
| 5  | Rasio CT/PT (n) | 0,286          |
| 6  | Inominal rele   | 5A             |

**3.2. Menentukan impedansi transformator yang terbaca di saluran**

Data impedansi 2 transformator yang terpasang diberikan dalam tabel 4 dengan kapasitas masing-masing 60 MVA dengan tegangan 150/20 kV dan impedansi 12,5% untuk trafo 1, dan tegangan 150/22 kV, dan impedansi 12,17% untuk trafo 2.

**Tabel 4.** Impedansi transformator

| Trafo | Daya (MVA) | Tegangan (kV) | Impedansi (%) |
|-------|------------|---------------|---------------|
| 1     | 60         | 150/20        | 12,5          |
| 2     | 60         | 150/22        | 12,17         |

Dengan menggunakan persamaan 11 dari data pada tabel 4, dapat ditentukan nilai impedansi trafo yang terbaca pada saluran.

1. Transformator 1 (150/20kV; 60MVA;12,5%).

Dengan menggunakan persamaan 11 dan data dari tabel 4, didapatkan nilai impedansi transformator 1 adalah:

$$X_T = \frac{Z_{sc} \cdot kV^2}{MVA_{Trafo}}$$

$$X_T = \frac{12,5\% \cdot 150^2}{60}$$

$$X_T = 46.875 \Omega$$

2. Transformator 2 (150/22kV; 60MVA;12,17%)

Dengan menggunakan persamaan 11 dan data dari tabel 4, didapatkan nilai impedansi transformator 2 adalah:

$$X_T = \frac{Z_{sc} \cdot kV^2}{MVA_{Trafo}}$$

$$X_T = \frac{12,17\% \cdot 150^2}{60}$$

$$X_T = 45.638 \Omega$$

Dengan mendapatkan nilai impedansi kedua transformator maka perhitungan selanjutnya diambil nilai impedansi transformator terkecil yaitu  $X_T = 45.638 \text{ ohm}$

**3.3. Menentukan setting zona rele.**

Setting zona rele dapat ditentukan untuk masing-masing zona dengan menggunakan persamaan 2 sampai dengan persamaan 9.

a. Zona 1

Dengan menggunakan data dari tabel 2, nilai *setting* zona 1 diperoleh.

$$\begin{aligned} \text{Zona} - 1 &= 0,8 * Z_{L1} \\ &= 0,8(3,656 + j10,595) \\ &= 2,925 + j8,476 \Omega \\ &= 8,97 \angle 71^\circ \Omega \end{aligned}$$

Nilai zona-1 yang diperoleh adalah nilai impedansi yang terbaca di CT dan PT, sehingga nilai untuk *setting* zona-1 dengan menggunakan persamaan 10 dan  $n = 0,286$

$$\begin{aligned} \text{Zona-1s} &= \text{Zona-1p} \times n \\ &= 8,97 \times 0,286 \\ &= 2,562 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Sehingga nilai yang harus di setting pada Zona 1 adalah  $Z_{1s} = 2,562 \text{ ohm}$  dengan waktu kerja rele saat mendeteksi gangguan **t=0 detik (instan)**.

b. Zona 2

Dengan menggunakan data dari tabel 2 maka *setting* untuk zona 2 dapat diperoleh.

|   |  |
|---|--|
| $\begin{aligned} \text{Zona-2}_{\text{minPrimer}} &= 1,2 \times Z_{L1} \\ &= 1,2 (3,656+j10,595) \\ &= 4,388+j 12,714 \text{ ohm} \\ &= 13,45 \angle 70.95^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$                         | $\begin{aligned} \text{Zona-2}_{\text{makPrimer}} &= 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \\ &= 0,8 ((3,656+j10,595) \\ &\quad + 0,8 (3,815+j11,054)) \\ &= 5.265+j 15.257 \\ &= 16.14 \angle 70.98^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$ |
| $\begin{aligned} \text{Zona-2}_{\text{Trafo}} &= 0,8.(Z_{L1} + 0,5.jX_{trafo}) \\ &= 0,8 ((3,656+j10,595) \\ &\quad + j.0,5 (45,638)) \\ &= 2,925+j26,731 \\ &= 26.89 \angle 83.77^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$ |  |

Dengan demikian nilai Zona 2 adalah nilai yang lebih tinggi namun dibawah nilai impedansi transformator yaitu 16.14 ohm. Maka di sisi sekunder berdasarkan persamaan 10 adalah 4,611 ohm dengan *setting* waktu 0,4 detik.

c. Zona 3

Dengan menggunakan data pada tabel 2 maka *setting* untuk zona 3 dapat diperoleh.

$$\begin{aligned} \text{Zona-3}_{\text{minPrimer}} &= 1,2 \times (Z_{L1}+Z_{L2}) \\ &= 1,2 (3.656+j10,595 + 3,815+j11,054) \\ &= 8.965 + j25.979 \text{ ohm} \\ &= \mathbf{27,482 \angle 70.96^\circ \text{ ohm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona-3}_{\text{mak1Primer}} &= 0,8 (Z_{L1} + (1,2 \times Z_{L2}) \times I_{\text{infeed}}) \\ &= 0,8 ((3,656+j10,595) + 0,8 (3,815+j11,054) \times 1) \\ &= 6,587+j19,088 \\ &= 20,192 \angle 70.96^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$$

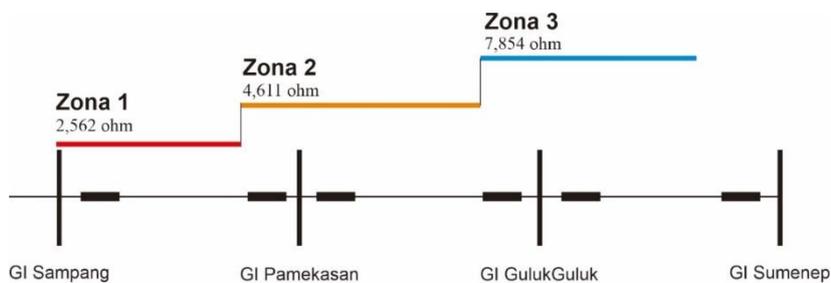
$$\begin{aligned} \text{Zona-3}_{\text{mak2Primer}} &= 0,8 ( Z_{L1} + I_{\text{infeed}}(0,8(Z_{L2} + 0,8Z_{L3}))) \\ &= 0,8(3,656 +j10,595) + 1(0,8(3,815+j11,054 + \\ &0,8(2,493+j7,225))) \\ &= 6,643+j 19,25 \text{ ohm} \\ &= 20.364 \angle 70.96^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona-3}_{\text{Trafo}} &= 0,8.(Z_{L1} + 0,8.jX_{\text{trafo}}) \\ &= 0,8 ((3,656+j10,595) + j.0,8 (45,638) \\ &= 2.925+j 37,684 \\ &= \mathbf{37.797 \angle 85.562^\circ \text{ ohm}} \end{aligned}$$

Nilai yang digunakan adalah nilai impedansi Zona 3 terbesar namun tidak melebihi nilai Zona 3 Transformator daya. Sehingga nilai impedansi yang digunakan adalah  $\text{Zona-3}_{\text{minPrimer}} = \mathbf{27,482 \angle 70.96^\circ \text{ ohm}}$ . Nilai impedansi tersebut pada sisi sekunder ( $Z_{3s}$ ) diperoleh,

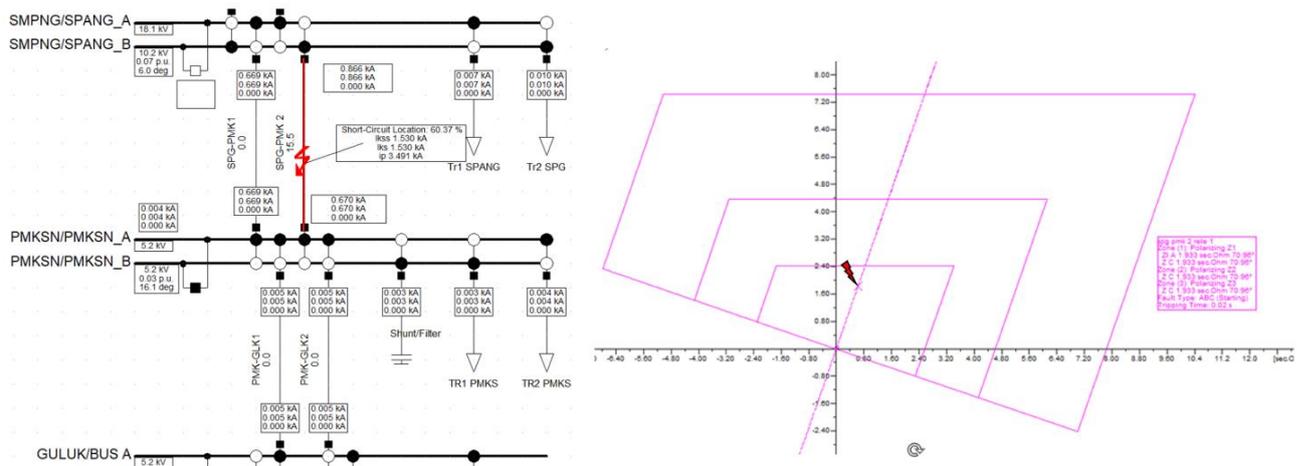
$$\begin{aligned} Z_{3s} &= \text{Zona-3}_{\text{minPrimer}} \times n \\ &= \mathbf{27,482 \times 0,286} \\ &= \mathbf{7,852 \text{ ohm.}} \end{aligned}$$

Sehingga nilai yang harus di setting pada Zona 3 adalah  $Z_{3s} = 7,852 \text{ ohm}$  dengan waktu kerja rele saat mendeteksi gangguan  $t=1,6$  detik (karena  $\text{Zona-3}_{\text{min}} > \text{Zona-3}_{\text{max}}$ ). Bentuk diagram proteksi yang dapat digambarkan dengan kondisi nilai setting yang telah diperoleh digambarkan pada gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram koordinasi proteksi antar zona



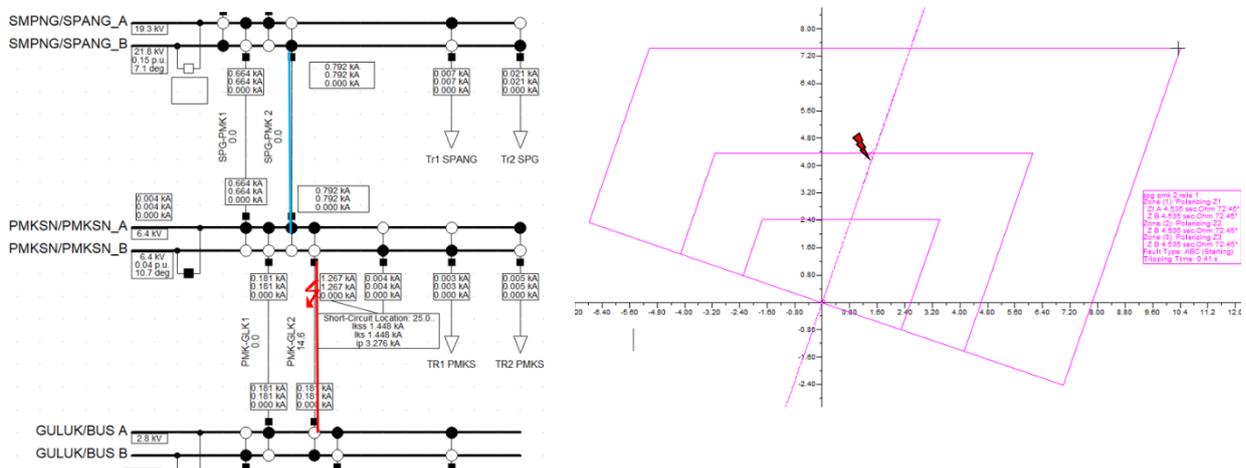


**Gambar 7.** Hasil simulasi untuk gangguan di zona 1.

Hasil simulasi berdasarkan gambar 7 menunjukkan bahwa gangguan berada pada zona yang diharapkan.

## 2. Zona 2

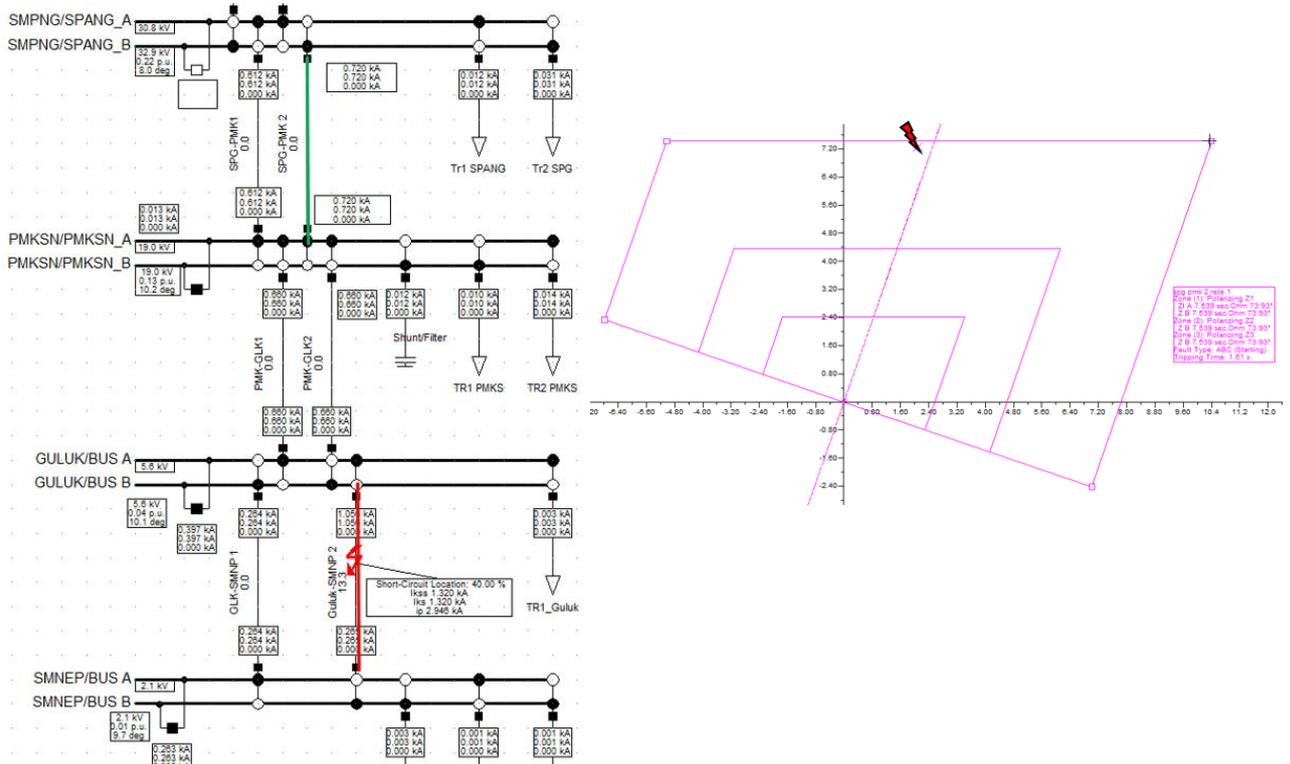
Pada zona 2 diasumsikan terjadi gangguan pada jarak 25% dari panjang penghantar Pamekasan-GulukGuluk 2, dan hasil simulasinya ditunjukkan oleh gambar 8.



**Gambar 8.** Simulasi untuk gangguan di zona 2

## 3. Zona 3

Pada zona 3 diasumsikan terjadi gangguan pada jarak 40% dari panjang penghantar GulukGuluk-Sumenep 2, dan hasil simulasi untuk gangguan di zona 3 ditunjukkan oleh gambar 9.



Gambar 9. Simulasi untuk gangguan di zona 3

c. Analisis

Prinsip kerja dari rele jarak adalah perbandingan antara nilai impedansi terukur dengan impedansi yang disetel. Apabila nilai impedansi kurang dari nilai *setting* impedansi pada zona-1 yaitu 2,562 ohm maka gangguan dirasakan berada pada zona-1 sehingga waktu *trip* adalah 0 detik (instan). Hasil simulasi pada gambar 7 menunjukkan titik gangguan berada pada area zona 1 dengan waktu *trip* 0.02 detik. Apabila nilai impedansi terbaca diantara nilai impedansi zona 1 dan zona 2 dalam hal ini nilai *setting* impedansi zona 2 adalah 4,611 ohm, maka gangguan dirasakan berada pada zona 2 dengan waktu jeda *trip* adalah 0,4 detik. Hasil simulasi pada gambar 8 menunjukkan bahwa rele bekerja pada saat gangguan berada diluar penghantar yang di proteksi, namun rele jarak penghantar Sampang-Pamekasan 2 memberikan jeda waktu 0,4 detik untuk *clearing time* gangguan oleh rele jarak lainnya yang bekerja pada penghantar tersebut.

Jika rele membaca nilai di antara impedansi zona 2 dan zona 3, dalam hal ini *setting* zona 3 adalah 7,854 ohm, maka gangguan berada pada zona 3 yaitu dengan jeda waktu *trip* 1,6 detik. Hasil simulasi pada gambar 9 menunjukkan bahwa titik gangguan berada di zona 3 dengan jeda waktu *trip* adalah Jeda waktu *trip* berfungsi untuk *clearing time* gangguan sehingga proteksi utama pada penghantar yang terkena gangguan dapat bekerja terlebih dahulu. Tabel 5 merupakan perbandingan antara nilai *setting* dengan standar IEEE C37.113.2015.

**Tabel 5.** Perbandingan hasil perhitungan rele jarak dengan standar

| Zona   | Standar                    | Setting Impedansi Sekunder | Hasil persentase saluran        | Keterangan     |
|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------|
| Zona 1 | 80-90% dari $Z_{L1}$       | 2,562                      | 80%                             | Sesuai Standar |
| Zona 2 | 120-150% dari $Z_{L1}$     | 4,611                      | 144% dari $Z_{L1}$              | Sesuai Standar |
| Zona 3 | 120% ( $Z_{L1} + Z_{L2}$ ) | 7,852                      | 120% dari ( $Z_{L1} + Z_{L2}$ ) | Sesuai Standar |

Berdasarkan tabel 5 terlihat bahwa perhitungan impedansi *setting* berada pada standar jangkauan impedansi dari setiap zona. Sehingga nilai *setting* pada rele jarak Sampang-Pamekasan 2 sudah sesuai dengan standar IEEE C37.113.2015.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Rele jarak penghantar Pamekasan 2 di Gardu Induk Sampang dapat mendeteksi gangguan di Zona 1 ketika nilai impedansi terbaca oleh rele kurang dari impedansi zona 1 ( $Z_f < 2,562 \Omega$ ). Waktu jeda trip untuk zona 1 adalah 0 detik (instant trip); Zona 2 jika nilai impedansi terbaca oleh rele lebih dari impedansi zona 1 namun kurang dari impedansi zona 2 ( $2,562\Omega < Z_f < 4,611 \Omega$ ). Waktu jeda trip untuk zona 2 adalah 0,4 detik; Zona 3, jika nilai impedansi terbaca oleh rele lebih dari impedansi zona 2 namun kurang dari impedansi zona 3 ( $4,611\Omega < Z_f < 7,854\Omega$ ). Waktu jeda trip untuk zona 2 adalah 1,6 detik. Jika nilai impedansi lebih dari zona 3, ( $Z_f > 7,854\Omega$ ) maka gangguan tersebut diluar zona kerja dari rele. Hasil pengujian nilai setting berdasarkan simulasi dengan menggunakan software digisilent menunjukkan bahwa setting sudah selektif sesuai dengan karakteristik dan zona rele pada standar IEEE C37.113.2015.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan sebesar-besarnya kepada ULTG Sampang, UPT Gresik, PT. PLN (Persero) yang mengizinkan penulis menyediakan dan mengambil data-data untuk keperluan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis di PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar," Vertex Elektro, vol. 12, no. 02, pp. 1-12, 2020.
- [2] W. Setiawan, R. A. Murdiantoro dan Nasrulloh, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Akibat Gangguan Pada Masa Pandemi Covid-19 di PT. PLN (Persero) ULP Sidareja," Journal of Electronic and Electrical Power Application, pp. 36-42, 2021.
- [3] I. Hajar dan M. H. Pratama, "Analisa Nilai SAIDI SAIFI Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT. PLN (Persero) Area Ciputat," Energi & Kelistrikan, vol. 10, no. 1, pp. 70-77, 2018.
- [4] Z. Zulkarnaini dan M. Rizki, "Studi Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV GI Payakumbuh-GI Koto Panjang," dalam PIMIMD, Padang, 2017.

- [5] A. Srinaldi, Muliadi, Syukri, M. R. Azmi dan Husaini, "Proteksi Jaringan Transmisi Saluran Udara Dengan Menggunakan Relay Jarak," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology (AJEETECH)*, vol. 1, no. 1, pp. 6-11, 2021.
- [6] H. Abibie, Sulistyowati dan F. Ronilaya, "Kajian Koordinasi Sistem Proteksi Pada Sistem Transmisi 70 kV GI Banaran Kediri Transmission Line Bay Pare," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 51-57, 2020.
- [7] M. M. Ostojic dan Z. N. Stojanovic, "An algorithm for distance protection based on the change of the voltage phase angle," *Electric Power System Research*, vol. 223, no. 109674, 2023.
- [8] M. W. Aminullah dan D. U. Y. Wardhani, "Pengaruh Pengaturan Rele Jarak Terhadap Proteksi Utama Pada Penghantar SUTET 500kV," *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 2, pp. 108-115, 2022.
- [9] M. Zainuddin dan Suherman, "Setting Koordinasi Proteksi Distance Relay Pada Saluran Transmisi 150 kV Gardu Induk Isimu Ke Gardu Induk Botupingge PT. PLN (Persero) Sistem Gorontalo," *Radial - juRnal perADaban salns, rekayasa dan teknoLogi*, vol. 1, no. 2, pp. 78-89.
- [10] A. Jamaah, "Evaluasi Setting Rele Jarak Gardu Induk Ungaran Jaringan 150 kV Arah Krapyak-2," *ORBITH*, vol. 10, no. 1, pp. 82-89, 2014.
- [11] R. A. Wahyuningsih, Supriyatna dan A. B. Muljono, "Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sistem Kelistrikan Lombok," *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, pp. 15-24, 2020.
- [12] I. A. Fauzi dan H. S. Dini, "Koordinasi Rele Jarak Sebagai Pengaman Utama Dengan Rele Arus Lebih Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Balongbendo - 150 kV Sekarputih," *KILAT*, vol. 11, no. 1, pp. 40-52, 2022.
- [13] A. S. Sampeallo, Nursalim dan M. A. S. Sagho, "Evaluasi Penyetelan Rele Jarak Pada Jaringan Transmisi 70 kV Bolok - Maulafa Menggunakan DigSilent 15.1.7," *Jurnal Media Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 1-9, 2020.
- [14] T. I. Yusuf dan L. M. Taslan, "Setting Distance Relay Pada Jaringan Transmisi 150 kV Sistem Gorontalo," *JURNAL TEKNIK*, vol. 16, no. 1, pp. 81-92, 2018.
- [15] A. S. Sampeallo, Nursalim, J. F. Mandala dan M. A. S. Sagho, "Effect of distance relay settings on interference zone reading on 70 kV transmission lines Bolok - Maulafa using digsilent 15.1.7," *Journal Physics: Conference Series*, vol. 012014, 2021.
- [16] L. Andreansyah, Gunawan dan B. Sukoco, "Analisis Relai Jarak Sebagai Proteksi Pada Jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Randu Garut - Weleri," dalam *Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) 2*, Semarang, 2019.
- [17] S. Seghir, T. Bouthiba, R. Boukhari, S. Dadda dan A. H. Bouricha, "Fault Resistance Effect On Distance Protection in High Voltage Transmission Lines," dalam *The Internation Conference on Recent Advances in Electrical Systems*, Tunisia, 2017.